察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物粒度特征分析

鲍 锋[1,2], 董治宝[1,3]

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西安文理学院 文化与旅游学院, 陕西 西安 710065; 3. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 在对柴达木盆地沙漠地区两次野外实地调查的基础上,选取察尔汗盐湖沙漠盛行风向沿线的线形沙丘和新月形沙丘沉积物样品进行了粒度特征分析。结果表明,研究区沙区沙粒度组成以细沙和中沙占优,粉沙和黏土含量明显,粒度变化遵循沿盛行风向粒径变细的规律;粒度参数特征表现出沉积物平均粒径较国内其他沙漠偏粗,分选较差,呈正偏—近对称形分布,线形沙丘成熟度比新月形沙丘偏高;沉积物累计概率曲线特征指示研究区沙区沙的沉积环境以跃移搬运为主,存在明显的悬移搬运和微弱的滚动搬运。

关键词: 线形沙丘; 新月形沙丘; 粒度特征; 柴达木盆地

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2014)06-0355-05 **中图分类号**: P94

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.068

Grain Size Characteristics of Sediments from Typical Sand Dunes in Chaerhan Salt Lake

BAO Feng[1,2], DONG Zhi-bao[1,3]

(1. *College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*; 2. *College of Tourism and Culture Science, Xi'an University, Xi'an, Shaanxi* 710065, *China*; 3. *Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu* 730000, *China*)

Abstract: Based on the two field studies in Qaidam Basin Desert, sediments of linear dune and barchans dune that are distributed along the prevailing wind in Chaerhan Salt Lake were collected as samples. Then, the grain size of the selected samples was analyzed. The results showed that fine and medium sand was dominant in the sand, sandy clay and fine silt was also detected in a large quantity. The grain size changed from coarse to fine along the prevailing wind. Moreover, the grain size parameters implied that the mean diameter of the samples was higher than those collected from the other deserts in China, which indicated a higher maturity values of linear dune over those of barchans dune. Finally, the cumulative frequency curve demonstrated that the sandy area under research was primarily deposited by saltation and suspension population.

Keywords: linear dune; barchan dune; grain size characteristics; Qaidam Basin

沙丘沉积物粒度特征作为研究风沙地貌形态及形成演化的重要参数,已得到许多学者的认可[1-7]。近年来,不断有关于沙丘沉积物粒度特征方面的成果发表,主要是通过沉积物粒度特征分析沙丘形态和物质组成并重建其形成发育的沉积环境。察尔汗盐湖沙漠中有理想的类似火星的沙丘形态,研究其风沙地貌有助于对火星表面地貌形成环境的判断,因而受到国内外学者的高度关注[8]。目前有关柴达木盆地沙漠形成和演化等问题的认识和分析还不系统[9-12],尤其是作为不同沉积环境下的线形沙丘和新月形沙丘在同一区域出现并沿着盛行风向分布,尚缺乏系统的论证。因此,本研究在对柴达木盆地沙漠两次野外考察的基础上,选取察尔汗盐湖沙漠中的线形沙丘、新月形沙丘,对其沉积物粒度进行对比分析,以期为柴达木盆地沙漠物质来源、沙丘的形成发育以及沉积环境的恢复和重建提供参考。

收稿日期:2011-10-08 **修回日期**:2014-09-30

资助项目:教育部"长江学者"特聘教授项目(801813); 国家重大科学研究计划(2013CB95600); 国家自然科学基金项目(41130533; 411710107)

作者简介:鲍锋(1975—),男(藏族),青海省西宁市人,博士研究生,研究方向为荒漠化。E-mail:bfeng2007@126.com。

通信作者:董治宝(1966—),男(汉族),陕西省横山县人,博士,教授,主要从事风沙物理学方面的研究。E-mail:zbdong@lzb.ac.cn。

1 材料与方法

柴达木盆地是我国海拔最高的内陆盆地，也是世界上风沙地貌的典型分布地区之一。该区年平均降水量不足30 mm，集中在夏季；主风向为西北风，历年大风日数都在30 d以上，强劲的风力为风沙地貌的发育提供了动力条件。采样点位于柴达木盆地中部达布逊湖的北岸，沙丘沿湖岸大致呈现出自西北向东南分布的趋势。区内主要分布有雅丹、新月形沙丘、线形沙丘等风成地貌。沙丘下伏地层为湖积层，含盐量较高并夹有岩盐沉积。

2009年7月和2010年8月在对察尔汗盐湖附近沙漠进行科学考察中，采集地表不同沙丘的沙样300多个。采样方法与Lancaster[13]在纳米布沙漠的采样标准类似，选取0.2 m×0.2 m面积的沙面，均匀采集表面0—1 cm深度的沙粒，样品重量500 g。为了便于对比分析，采用统一的采样规范：新月形沙丘的表面沙样均采自迎风坡和背风坡中部以及沙丘顶部，线形沙丘表面沙样采自两侧坡面和顶部。样点的地理位置用卫星定位仪(GPS)精确定位。选取线形沙丘和新月形沙丘共4组沙样，并沿盛行风向自上而下依次命名为：线形沙丘(A组)，新月形沙丘(B组)，线形沙丘(C组)，新月形沙丘(D组)。利用英国Malvern公司生产的Mastersizer 2000激光粒度仪对样品粒度组成进行测定，获得各粒级的百分含量，各粒级含量以体积百分比表示。沉积物粒径大小表示方法一般有两种：一种是直接以毫米或微米为单位直接表示颗粒直径；另一种是在Udden—Wentworth粒度分级标准的基础上，根据Krumbein公式进行对数转化，将粒径表示为Φ值：

$$\Phi = -\log_2 2^d$$

式中：d——直径(mm)。M_Z(平均粒径)，σ_1(标准离差)，SK_1(偏度)，KG(峰态)等粒度特征参数值的计算均采用Folk和Ward公式[14-15]。

2 结果与分析

2.1 粒度组成特征

为了研究不同沙丘类型的粒度组成变化，依据样品粒度分析数据，计算了沉积物各粒级级配(图1)。由图1可知，从各粒级的百分含量来看，线形沙丘(A组)中黏土含量变化范围为0～2.56%，平均值为0.93%；粉沙含量变化范围为0.12%～3.35%，平均值为1.23%；极细沙含量变化范围为3.46%～15.02%，平均值为7.57%；细沙含量变化范围为9.05%～51.07%，平均值为23.95%；中沙含量变化范围为26.38%～39.82%，平均值为33.09%；粗砂含量变化范围为1.62%～50.65%，平均值为33.24%。新月形沙丘(B组)中黏土和粉沙含量为0；极细沙含量变化范围为3.08%～10.28%，平均值为6.23%；细沙含量变化范围为26.82%～55.45%，平均值为39.41%；中沙含量变化范围为33.76%～51.95%，平均值为44.04%；粗砂含量变化范围为0.51%～21.44%，平均值为10.32%。线形沙丘(C组)中黏土含量变化范围为1.32%～2.32%，平均值为1.89%；粉沙含量变化范围为2.12%～2.88%，平均值为2.43%；极细沙含量变化范围为7.30%～14.27%，平均值为9.83%；细沙含量变化范围为71.74%～76.45%，平均值为74.75%；中沙含量变化范围为10.30%～12.02%，平均值为10.91%；在沙丘顶部和北坡中部还有少量粗沙，变化范围为0～0.31%，平均值为0.19%。新月形沙丘(D组)中黏土含量变化范围为0.22%～0.82%，平均值为0.53%；粉沙含量变化范围为1.94%～2.06%，平均值为2.01%；极细沙含量变化范围为0.37%～5.66%，平均值为3.14%；细沙含量变化范围为32.46%～58.72%，平均值为48.76%；中沙含量变化范围为32.98%～58.66%，平均值为43.38%；粗沙含量变化范围为0.04%～6.34%，平均值为2.17%。可见，线形沙丘(A组)的优势粒径为粗砂和中沙，新月形沙丘(B组)的沙粒粒径主要集中在中沙、细沙，线形沙丘(C组)的优势粒径为细沙，新月形沙丘(D组)的粒径则集中在细沙、中沙。

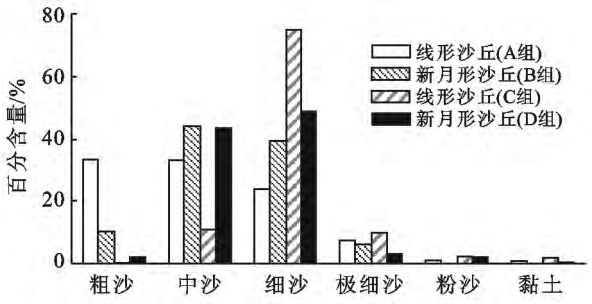


图1 新月形沙丘与线形沙丘沉积物颗粒级配

2.2 粒度参数特征

由图2可以看出，线形沙丘(A组)的平均粒径变化范围为1.09～2.43 Φ；其中沙丘南坡(A_1)的平均粒径值为1.10 Φ，北坡(A_3)的平均粒径值为1.09 Φ，沙丘顶部(A_2)的平均粒径值为2.43 Φ。新月形沙丘(B组)的平均粒径变化范围为1.65～2.25 Φ；其中沙丘迎风坡(B_1)的平均粒径值为1.65 Φ，背风

坡(B_3)的平均粒径值为 2.25 Φ，沙丘顶部(B_2)的平均粒径值为 1.83 Φ。线形沙丘(C 组)的平均粒径变化范围为 2.48～2.57 Φ；其中沙丘南坡(C_1)的平均粒径值为 2.51 Φ，沙丘北坡(C_3)的平均粒径值为 2.48 Φ，沙丘顶部(C_2)的平均粒径值为 2.57 Φ。新月形沙丘(D 组)的平均粒径变化范围为 1.79～2.24 Φ；其中迎风坡(D_1)的平均粒径值为 1.79 Φ，背风坡的平均粒径值为 2.24 Φ，沙丘顶部(D_2)的平均粒径值为 2.16 Φ。可以看出，线形沙丘中 C 组沙样平均粒径值要大于 A 组，线性沙丘南北坡的平均粒径值要小于沙丘顶部。新月形沙丘中 D 组沙样平均粒径值大于 B 组，同一沙丘中平均粒径值存在沿迎风坡、沙丘顶部至背风坡变小的规律。

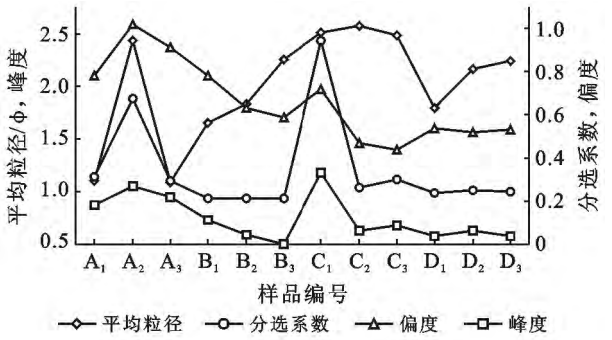


图 2　察尔汗盐湖沙漠不同沙丘粒度参数变化

按 Folk 和 Ward 的分选程度评价标准，线形沙丘(A 组)的分选系数为 0.78～1.02，均值为 0.90，表明分选中等至较差，且沙丘两翼略好于沙丘顶部；新月形沙丘(B 组)的分选系数为 0.59～0.78，均值为 0.67，表明分选中等至较好，且沿迎风坡、沙丘顶部至背风坡分选变好；线形沙丘(C 组)沙样的分选系数为 0.44～0.72，均值为 0.54，表明分选较好至很好，且沙丘南坡、沙丘顶部至沙丘北坡分选变好；新月形沙丘(D 组)的分选系数为 0.52～0.54，平均值为 0.53，表明分选较好且沿迎风坡、沙丘顶部至背风坡分选变好。从平均结果来看，位于下风向的沙丘分选性好于上风向沙丘。偏度体现了粒度分布的对称性。线形沙丘(A 组)沉积物的偏度值介于 0.18～0.27，平均值 0.22 为正偏；新月形沙丘(B 组)沉积物的偏度值介于 0～0.11，平均值 0.05，为近对称分布；线形沙丘(C 组)沉积物的偏度值介于 0.06～0.33 之间，平均值 0.16 为正偏；新月形沙丘(D 组)沉积物的偏度介于 0.04～0.06 之间，平均值 0.05，为近对称分布。研究区沙丘沉积物的峰度平均值介于 0.93～1.52 之间，其中线形沙丘的峰度平均值为 1.37 和 1.52，新月形沙丘的峰度平均值为 0.93 和 1.00。由此可见，线形沙丘峰度呈现为很窄型和窄型，新月形沙丘呈现为中等峰度。

累计概率曲线能够反映沙丘粒度分布并揭示各种搬运方式(滚动、跳跃和悬移)，藉此可以推断沙丘的沉积环境；风沙活动愈频繁、愈强烈，曲线特征就越陡；对于风成沉积而言，概率累积曲线一般存在 1～3 个截点，可将粒径分布划分为 2～4 段相互独立的线段[3,6,16]。察尔汗盐湖沙漠不同沙丘形态沉积物样品典型累积概率曲线图式为一段式、二段式和三段式(图 3)。其中位于上风向的线形沙丘(A 组)表现最为复杂，沙丘南坡为一段式，沙丘顶部为典型的三段式，沙丘北坡为二段式。其特点为滚动体小于 0.2% 或不发育；以跃移体为主，总体含量一般为 93.7%～99.9%，且分选较好；悬移体含量为 0.3%～6.2%，分选较差或很差；悬移体和跃移体之间的交切点为 3.8～4.2 Φ，滚动体和跃移体之间的交切点为 0.2 Φ。新月形沙丘(B 组)表现为一段式，其特点为跃移体为主，含量为 99%，滚动体和悬移体不发育，线段斜率高，分选好。线形沙丘(C 组)概率累计曲线图式为二段式和三段式，沙丘北坡为三段式，南坡和顶部为二段式。其特点为滚动体小于 0.3% 或不发育；跃移体含量为 92.4%～95.3%，分选较好；悬移体含量为4.3%～7.6%，分选较差；悬移体和跃移体之间的交切点为 3.5～4.2 Φ，滚动体和跃移体之间的交切点为 1.2 Φ。新月形沙丘(D 组)表现为二段式，其特点为的跃移体含量为 97.3%～97.8%，且分选较好；悬移体含量为 2.1%～2.6%，分选较差；悬移体和跃移体之间的交切点为 3.2～3.5 Φ。

3　结果讨论

3.1　察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物粒度组成变化特点

察尔汗盐湖沙漠沿区域盛行风方向上的不同沙丘沉积物粒度组成存在明显差异。从同一沙丘形态看，线形沙丘(A 组)沉积物以粗沙和中沙为主，但粒级分布较为分散，各粒级均有出现；位于下风向的线形沙丘(C 组)沉积物中细沙占绝对优势。新月形沙丘(B 组)沉积物以中沙和细沙的组分为主，其它粒级比重很小；位于下风向的新月形沙丘(D 组)沉积物以细沙和中沙的组分占优。总之，研究区沉积物粒度分布整体存在自西北向东南沿盛行风向粒径变细的规律，说明形成沙丘的物质来源是相对单一的沉积物。研究中发现察尔汗盐湖沙漠沉积物中含有一定量的粉沙与黏土。就这一粒径组分来看，除在新月形沙丘(B 组)中未出现外，在其他 3 组沉积物样品中均有分布，最大含量为 5.91%；线形沙丘中粉沙与黏土的总

含量明显高于新月形沙丘，线形沙丘（C 组）和新月形沙丘（D 组）沉积物中粉沙、黏土含量高于线形沙丘（A 组）和新月形沙丘（B 组），基本呈现出处于下风向的沙丘粉砂黏土含量偏高的特征。

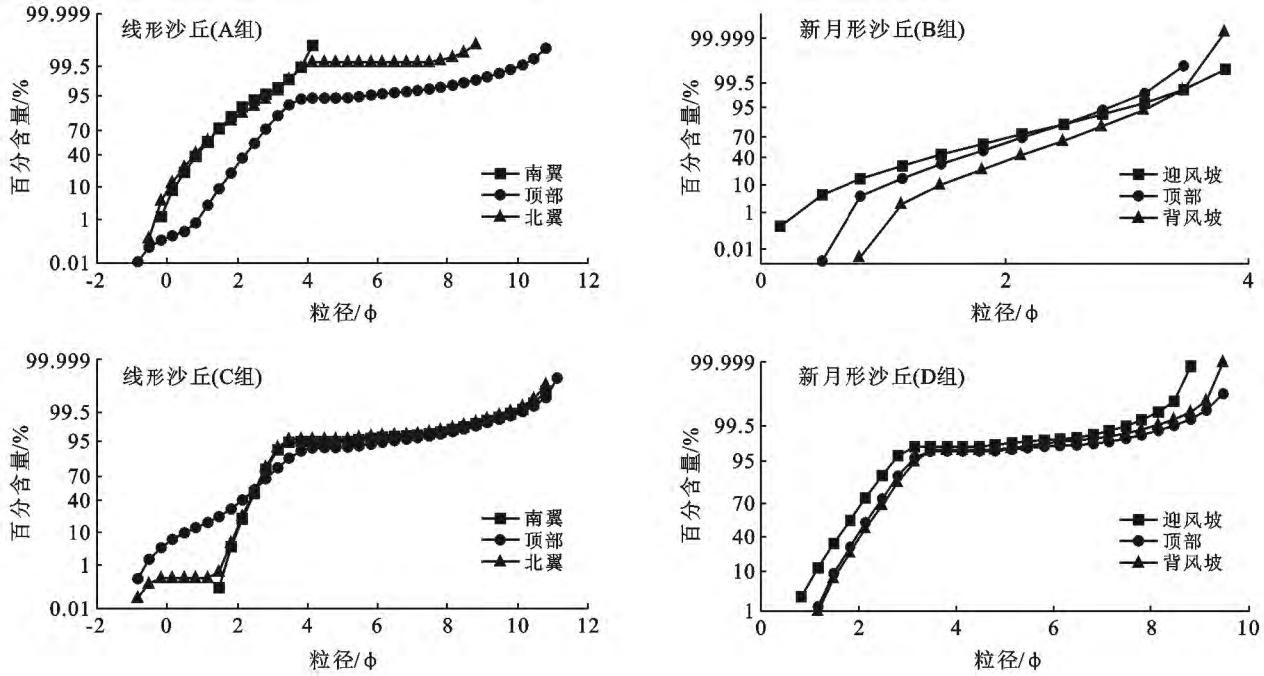


图 3 新月形沙丘和线性沙丘沉积物累计概率曲线

3.2 察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物粒度参数变化特点

察尔汗盐湖沙漠沉积物的平均粒径值（M_Z）为 1.09～2.57 Φ，均值约为 2.04 Φ，这与我国库姆塔格沙漠（M_Z＝2.43）、巴丹吉林沙漠（M_Z＝2.25）、腾格里沙漠（M_Z＝2.59）、塔克拉玛干沙漠（M_Z＝3.08）相比粒径偏粗；其中线形沙丘（A 组）沉积物平均粒径最大、其次为新月形沙丘（B 组）和新月形沙丘（D 组），处于下风向的线形沙丘（C 组）沉积物平均粒径最小。另外，从察尔汗盐湖沙漠沙丘表面不同地貌部位的粒度参数变化规律可以看出，新月形沙丘表现为由迎风坡至背风坡平均粒径变细、线形沙丘两侧坡面沙粒粒径基本相当但粗于丘顶。沉积物的分选系数为 0.44～1.02，从沉积物分选状况来看，D 组分选最好，其次是 C 组、B 组，A 组分选最差；和国内其他沙漠相比，整体表现为沉积物分选较差。从察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物偏度平均结果来看，偏度值介于 0.05～0.16之间，总体上呈近对称和正偏分布。其中，线形沙丘沉积物呈正偏分布，新月形沙丘呈近对称分布。线形沙丘为尖峰态，说明风力作用过程较久，风成沙成熟度较高[17]。新月形沙丘峰度值差异不大，均为中等峰度。

3.3 察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物累计概率曲线变化特点

已有的研究[16]表明，粗沙和极粗沙一般以蠕移的形式在地表滚动或滑动，较细的沙粒如细沙和中沙会在风力作用下以跃移的形式向前搬运，而对于粒径更细的沙粒则会以悬移的形式随风运动。研究区沙丘沙累积概率曲线图式为一段式、二段式和三段式，说明近地表风沙运动中以跃移为主，这种运动方式不仅造成地表沉积物的搬运堆积形成各种风沙堆积形态，在搬运过程中也造成了物质分选，使地表沉积物的粒度特征发生变化。同时发现处于下风向的线形沙丘和新月形沙丘还存在较为明显的悬移搬运，可能与柴达木盆地分布普遍的泥质和粉沙质湖相沉积物在干燥多风的气候下就地起沙有关[9]。根据维谢尔给出的不同沉积作用下典型的概率累积曲线图，对比察尔汗盐湖沙漠沙丘沉积物的概率累计曲线特征，发现其与古河流或三角洲上的沉积物累计概率曲线特征比较接近。

4 结 论

（1）通过对察尔汗盐湖沙漠不同沙丘沉积物从粒度组成特征、粒度参数特征和累计概率曲线特征 3 个方面的分析，发现研究区沙丘沉积物粒度组成以细沙和中沙含量较高，粉沙和黏土含量较我国其他沙漠高；沉积物平均粒径偏粗，分选较差；沙丘沉积物粒度呈正偏分布或呈近对称分布；沙丘沉积物峰度呈现为很窄型和窄型或中等峰度。累计概率曲线特征结果

为沙丘沙以跃移搬运为主,但存在悬移搬运。

(2) 选取沿区域盛行风向分布的两组线形沙丘和新月形沙丘进行了沉积物粒度特征对比分析,结果表明沉积物粒度参数特征沿风向分布存在一定的规律,如平均粒径值自 A 组沙丘至 D 组沙丘逐渐变小,沉积物分选逐渐变好等。同时还发现不同类型的沙丘,其沉积物粒度参数也存在差异,如线形沙丘沉积物粒度呈正偏分布,新月形沙丘沉积物粒度呈近对称分布;峰度值显示线形沙丘成熟度比新月形沙丘高;累计概率曲线特征显示沙丘沉积物以跃移搬运为主,但处于区域盛行风向下风向的线形沙丘和新月形沙丘的沉积物还存在悬移搬运。

(3) 由于线形沙丘和新月形沙丘是不同沉积环境下的两种沙丘类型,以往的研究多侧重于单个沙丘类型研究或不同区域沙丘类型的对比研究,目前还缺少对于同一区域线形沙丘和新月形沙丘的对比分析。本研究针对柴达木盆地独特的风沙地貌,选取察尔汗盐湖沙漠中沿盛行风向分布的线形沙丘和新月形沙丘,就沙丘沉积物粒度特征进行对比分析,揭示了柴达木盆地沙漠沙丘沉积物的基本特征及其沉积环境。但是沙丘沉积环境是一个多因素控制的复杂系统,还需要从风况、沙源、沙丘沉积构造等方面系统研究柴达木盆地沙丘沉积的基本机理[18]。

[参 考 文 献]

[1] Andrew W. Grain size variations on a longitudinal dune and a barchans dune [J]. Sedimentary Geology, 1986, 46(1):49-66.

[2] 布克利. 澳大利亚线形沙丘的粒度特征[J]. 干旱区研究,1990,7(2):64-66.

[3] 陈渭南. 塔克拉玛干沙漠 84°沿线沙物质的粒度特征[J]. 地理学报,1993,48(1):33-46.

[4] 哈斯,王贵勇. 沙坡头地区新月形沙丘粒度特征[J]. 中国沙漠,2001,21(3):271-275.

[5] 何清,杨兴华. 库姆塔格沙漠粒度分布特征及环境意义[J]. 中国沙漠,2009,29(1):18-22.

[6] 吉启慧. 粒度分析在塔克拉玛干沙漠研究中的应用[J]. 中国沙漠,1996,16(2):173-179.

[7] 魏怀东. 库姆塔格沙漠沙丘的粒度特征[J]. 水土保持学报,2007,21(3):6-9.

[8] Rubin D M, Hesp P A. Multiple origins of linear dunes on Earth and Titan[J]. Nature Geoscience, 2009, 2(9): 653-658.

[9] 钟德才. 柴达木盆地沙漠形成和演变的初步研究[C]// 中国科学院兰州沙漠研究所集刊. 北京:科学出版社,1986:124-136.

[10] 辛彦林. 柴达木盆地盐湖中的风成砂[J]. 中国沙漠,1995,15(3):252-255.

[11] 钱征宇,刘守勤. 线形沙丘的风沙沉积特征与内部构造[J]. 中国沙漠,1994,14(3):25-30.

[12] 曾永年,冯兆东. 末次冰期以来柴达木盆地沙漠形成与演化[J]. 地理学报,2003,58(3):452-457.

[13] Lancaster N. The Namib sand sea: Dune forms, processes and sediments [M]. Balkema: Rotterdam, 1989.

[14] 成都地质学院 陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社,1976.

[15] 任明达,王乃梁. 现代沉积环境概论[M]. 北京:科学出版社,1981:8-15.

[16] 董治宝,苏志珠. 库姆塔格沙漠风沙地貌[M]. 北京:科学出版社,2011.

[17] 李振山,陈广庭. 塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙垄表面沙物质粒度特征[J]. 干旱区资源与环境,1998,12(1):21-27.

[18] 李振山,倪晋仁. 国外沙丘研究综述[J]. 泥沙研究,2000,10(5):73-81.